

# Verfahren, Vorrichtung und Lasersystem zur Herstellung von Bildschirmhologrammen, sowie Hologramm

Publication number: DE19934162

Publication date: 2001-02-08

Inventor: HALLDORSSON THORSTEINN (DE)

Applicant: DAIMLER CHRYSLER AG (DE)

Classification:

- International: **G03B21/56; G02B5/32; G03H1/26; G03B21/56; G02B5/32; G03H1/26; (IPC1-7): G02B5/32; G03H1/00**

- European: G02B5/32; G03H1/26

Application number: DE19991034162 19990721

Priority number(s): DE19991034162 19990721

Also published as:

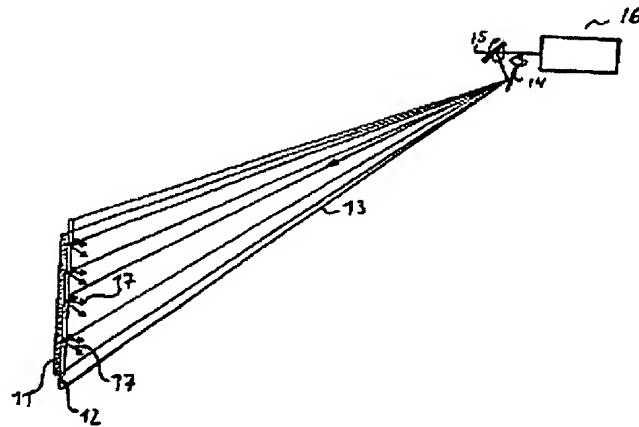
WO0107942 (A1)  
EP1196794 (A1)  
US6982817 (B1)  
EP1196794 (A0)  
EP1196794 (B1)

more >>

[Report a data error here](#)

## Abstract of DE19934162

The invention relates to a method for producing screen holograms in which a real screen (11) is illuminated with narrow-band light (13) in order to produce a hologram (12) of the real screen. To this end, a multitude of individual shootings is carried out, whereby only one partial area of the real screen is mapped in the hologram (12). The individual shootings are carried out, for example, using a scanning pulsed laser beam. The individual shootings assemble to form a screen hologram of the entire screen (11). A recording device comprises a scanning device for guiding the luminous radiation (13) over the screen (11) and comprises a light source (16) which generates the pulsed luminous radiation. The light source (16) is, for example, a laser system comprising a pulsed, q-switched oscillator and an optical parametric oscillator.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 34 162 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 02 B 5/32**  
G 03 H 1/00

②① Aktenzeichen: 199 34 162.1  
②② Anmeldetag: 21. 7. 1999  
④③ Offenlegungstag: 8. 2. 2001

**DE 199 34 162 A 1**

⑦① Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Halldorsson, Thorsteinn, 81927 München, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 44 32 029 A1  
EP 4 99 372 A2  
WO 99 39 510

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren, Vorrichtung und Lasersystem zur Herstellung von Bildschirmhologrammen, sowie Hologramm

⑤⑦ Bei einem Verfahren zur Herstellung von Bildschirmhologrammen wird ein realer Bildschirm (11) mit schmalbandigem Licht (13) beleuchtet, um ein Hologramm (12) des realen Bildschirms zu erzeugen. Dabei wird eine Vielzahl von Einzelaufnahmen durchgeführt, wobei jeweils nur ein Teilbereich des realen Bildschirms in das Hologramm (12) abgebildet wird. Die Einzelaufnahmen erfolgen z. B. mittels einem scannenden, gepulsten Laserstrahl. Die Einzelaufnahmen setzen sich zum Bildschirmhologramm des gesamten Bildschirms (11) zusammen. Eine Aufnahmevorrichtung umfaßt eine Scanvorrichtung zum Führen der Lichtstrahlung (13) über den Bildschirm (11) und eine Lichtquelle (16), die gepulste Lichtstrahlung erzeugt. Die Lichtquelle (16) ist z. B. ein Lasersystem mit einem gepulsten, q-geschalteten Oszillator und mit einem optisch-parametrischen Oszillator.

**DE 199 34 162 A 1**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Vorrichtung und ein Lasersystem zur Herstellung von Bildschirmhologrammen, sowie ein Bildschirmhologramm, gemäß den Oberbegriffen der Patentansprüche 1, 16, 19 und 21.

Bildschirmhologramme, die als holografische Abbilder von reellen, weißen Bildschirmen oder Bildschirmleinwänden hergestellt und mit Lasern in den Grundfarben Rot Grün und Blau (rgb) aufgenommen werden, haben den Vorteil, daß sie nur in einem engen Spektralbereich um die Aufnahmewellenlänge und gleichzeitig nur innerhalb eines sehr begrenzten Projektionswinkels um die Einfallsrichtung des Referenzstrahles bei der vorhergehenden Hologrammaufnahme wirksam sind. Die Funktionsweise solcher Schirme bzw. holografischer Bildschirme ist in den deutschen Patentanmeldungen Nr. 197 00 162.9 und Nr. 197 03 592.2 ausführlich beschrieben.

Als Lichtquellen für die Projektion können vor allem rgb-Laser im Dauerstrichbetrieb und gepulstem Betrieb sowie rgb-Leuchtdioden verwendet werden. Der Bildaufbau kann wahlweise durch das seriellen Scannen eines kollimierten Laserstrahles oder durch die Abbildung eines Bildmodulators im aufgeweiteten Strahl eines Lasers oder einer Leuchtdiode auf den Schirm durchgeführt werden. Holografische Bildschirme können sowohl für Aufprojektion als auch für Rückprojektion hergestellt werden. Wegen ihrer Wellenlängen- und Richtungsselektivität können selbst in Tageslichtumgebung helle, kontrastreiche und farbtreue Bilder auf Bildschirmhologramme projiziert werden. Der Projektor mit den schmalbandigen Lichtquellen wird an den Strahlursprung des divergenten Referenzstrahles plaziert. Nur von dort aus wird das Projektionslicht effizient aus dem Hologramm zum Zuschauer herausgebeugt, wobei z. B. das diffuse, breitbandige Umgebungslicht aus allen anderen Einfallsrichtungen das Bildschirmhologramm ungehindert durchqueren kann.

Für die Wiedergabe bzw. die Projektion von Bildern auf Bildschirmhologramme werden z. B. rgb-Laser verwendet, wie sie in "RGB Optical Parametric Oscillator Source", K. Snell et al. Aerosense 99 und in den Patentschriften DE 195 04 047 und DE 44 32 029 beschrieben werden.

Die möglichen Anwendungen von Bildschirmhologrammen erstrecken sich über das weite Gebiet von kleinen Displays, z. B. für nur eine einzige Person in Fahrzeugen und Flugzeugen oder an Arbeitsplätzen im Büro, bis zu Großflächenschirmen für mehrere Zuschauer bei Veranstaltungen.

Die kleineren Displays können mit frequenzstabilen rgb-Dauerstrichlasern aufgenommen werden. Nachteilhaft sind dabei die hohen Anforderungen an die Stabilität des Lasers und des Strahlenganges und der damit verbundene große Aufwand, der mit hohen Kosten verbunden ist.

Eine Bilddarstellung auf großen Bildschirmhologramme, die unabhängig vom Umgebungslicht ist, wäre z. B. für verschiedenste Anwendungen im Heim- und Bürobereich, für Fernsehen, Computer, elektronisches Kino und für Vorführungen in Vortragssälen, Kino und im Freilufttheater sehr attraktiv. Jedoch bereitet die Herstellung von größeren Bildschirmen, z. B. in der Größe von Schreibmaschinenpapier (DINA4) oder größer, erhebliche technische Schwierigkeiten.

Erstens ist die Ausgangsleistung der stärksten Dauerstrichlaser für die Hologrammaufnahmen heute nur auf einige Watt limitiert, was bei Belichtung der besonders geeigneten Silberhalogenid- und Photopolymermaterialien ab 1 m<sup>2</sup> Größe eine Belichtungszeit von mehreren zehn Minuten erfordert. Für diese langen Belichtungszeiten sind die Anforderungen an die mechanische und thermische Stabili-

tät des Materials, an die optischen Komponenten des Strahlenganges und an die Frequenzstabilität des Lasers besonders hoch.

Zweitens muß der Objekt- und Referenzstrahl bei der Hologrammaufnahme auf Kosten der Lichtleistung über die Größe des Bildschirms und des Hologramms aufgeweitet werden, denn die radiale Intensitätsverteilung ist über den Laserstrahl nicht konstant, sondern folgt einer Gaußverteilung, die eine starke Aufweitung notwendig macht um eine möglichst homogene Beleuchtung über die Fläche der Hologramme zu erzielen. Wenn zur Schaffung eines großen Bildschirmhologramms mehrere Bildschirmhologramme aneinandergefügt werden, ist der Intensitätsabfall zu den Rändern der einzelnen belichteten Hologramme besonders störend, weil dann ein periodisches Schattenmuster den ganzen Bildschirm bei der Projektion durchzieht.

Drittens bereitet die Einbelichtung von den drei rgb-Farben dreier Laser in das gleiche Hologramm Schwierigkeiten, da eine gleichmäßige Belichtung aller drei Laser über eine größere Fläche kaum erzielt werden kann. Da die Wellenlängen der Laser deutlich unterschiedlich sind, ergeben sich Unterschiede in der Strahltransmission durch Brechung, Beugung und Streuung an verschiedenen Stellen des gesamten Strahlenganges, was zu ungleichmäßiger Farbdarstellung führt und bei einer Abbildung über eine ausgedehnte Fläche nur schwer zu beheben ist.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren, eine Vorrichtung und ein Lasersystem zu schaffen, das die einfache Herstellung sowohl kleiner als auch großflächiger Bildschirmhologramme hoher Qualität ermöglicht. Weiterhin soll ein Bildschirmhologramm geschaffen werden, das auch großflächig realisierbar ist, ohne daß die Bildqualität bei der Projektion darunter leidet.

Diese Aufgabe wird gelöst durch das Verfahren und die Vorrichtung zur Herstellung von Bildschirmhologrammen gemäß den Patentansprüchen 1 bzw. 16, durch das Lasersystem gemäß Patentanspruch 19, sowie durch das Bildschirmhologramm gemäß Patentanspruch 21. Weitere vorteilhafte Merkmale, Aspekte und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein realer Bildschirm mit schmalbandigem Licht beleuchtet um ein Hologramm des realen Bildschirms zu erzeugen, wobei eine Vielzahl von Einzelaufnahmen durchgeführt wird, bei denen jeweils nur ein Teilbereich des realen Bildschirms beleuchtet wird, so daß sich durch Zusammensetzung und/oder Überlagerung der Einzelaufnahmen das Bildschirmhologramm des gesamten Bildschirms ergibt. Dadurch sind jeweils nur sehr kurze Belichtungszeiten möglich, so daß Störungen bei der Belichtung z. B. durch Erschütterungen oder andere Instabilitäten vermieden werden. Weiterhin ergeben sich keine Intensitätsverminderungen am Rand oder periodische Schattenmuster. Eine gleichmäßige Farbdarstellung auf großen Flächen wird möglich.

Vorteilhafterweise erfolgt die Beleuchtung mit einem scannenden, gepulsten Laserstrahl. Die Pulsdauer ist z. B. derart bemessen, daß die Bewegung des Laserstrahls über den Bildschirm keinen Einfluß auf die Interferenz der Lichtwellen im Hologramm hat. Bevorzugt entsprechen die aufgenommenen Teilbereiche des Bildschirms der Größe von Bildpixeln oder größer. Insbesondere kann die Belichtung mit einem gepulsten, diodengepumpten Festkörperdauerstrichlaser erfolgen.

Bevorzugt erfolgt eine Frequenzkonversion in einen oder mehrere der Wellenlängenbereiche rot, grün, blau. Beispielsweise wird ein Kontakthologramm oder ein Bildschirmenebenenhologramm erzeugt. Auch kann ein Transmis-

sionshologramm oder ein Reflexionshologramm erzeugt werden. Bevorzugt werden Laserstrahlen mit einer Kohärenzlänge erzeugt, die größer ist als die Differenz der Lichtwege zwischen Objektstrahl und Referenzstrahl. Sangeschwindigkeit und Pulsdauer sind z. B. so aufeinander abgestimmt, daß die Bewegung des Laserstrahls während eines Pulses kleiner als 1/10 der Wellenlänge ist.

Vorzugsweise erfolgt ein mehrmaliges Abscannen der Bildschirmfläche mit jeweils phasenverschobenem Laserstrahl. Die Verteilung der Belichtung kann gemessen werden, um bei einem nachfolgenden Belichtungszyklus die Belichtung zu korrigieren. Auch können mehrere Belichtungen mit senkrecht zueinander polarisierten Licht- oder Laserstrahlen durchgeführt werden, um zwei voneinander unabhängige Schirmbilder in dem Hologramm zu erzeugen. Weiterhin können mehrere Belichtungen mit veränderten Aufnahmeparametern, wie beispielsweise verändertem Ort des realen Bildschirms oder verändertem Ursprungsort des Referenzstrahls, durchgeführt werden. Bevorzugt erfolgt die Belichtung gleichzeitig durch Licht- oder Laserstrahlen der Grundfarben rot, grün, blau, die auf einer Strahlachse koaxial justiert sind.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung von Bildschirmhologrammen hat eine schmalbandigen Lichtquelle zur Beleuchtung eines realen Bildschirms, die z. B. so angeordnet ist, daß sich das vom Bildschirm ausgehende Licht mit einem Referenzstrahl überlagert um ein Hologramm des Bildschirms zu erzeugen, wobei weiterhin eine Scanvorrichtung zum Führen der von der Lichtquelle ausgehenden Lichtstrahlung über den Bildschirm vorgesehen ist, wobei die Lichtquelle gepulste Lichtstrahlung erzeugt. Dadurch können auch großflächige Bildschirmhologramme hoher Qualität einfach hergestellt werden.

Die Lichtquelle erzeugt vorzugsweise gleichzeitig rote, grüne und blaue Laserstrahlung. Die Lichtquelle umfaßt insbesondere ein Lasersystem, wie es nachfolgend beschrieben wird.

Das erfindungsgemäße Lasersystem zur Herstellung von RGB-Strahlen ist insbesondere für die Herstellung von Bildschirmhologrammen geeignet und umfaßt: eine Laserstrahlquelle zur Erzeugung von Laserstrahlung, eine Frequenzkonversionseinrichtung, und einen optisch parametrischen Oszillator, wobei die Laserstrahlquelle einen gepulsten, q-geschalteten Laser-Oszillator umfaßt.

Mit diesem Lasersystem können großflächige Bildschirmhologramme zur Farbprojektion mit hoher Bildqualität auf einfache Weise erzeugt werden.

Bevorzugt ist der q-geschaltete Laser-Oszillator ein Einfrequenz IR-Oszillator. Die Laserstrahlquelle hat z. B. einen Laserverstärker, der dem q-geschalteten Laseroszillator nachgeschaltet ist. Das erfindungsgemäße Bildschirmhologramm hat ein holografisches Aufnahmematerial, in dem ein realer Bildschirm als Hologramm gespeichert ist, wobei das Bildschirmhologramm eine Vielzahl von Einzelaufnahmen enthält, in denen jeweils ein Teilbereich des realen Bildschirms als Hologramm abgebildet ist, wobei sich das gesamte Bild des Bildschirms aus den zusammengesetzten und/oder überlagerten Einzelaufnahmen ergibt. Dadurch ergibt sich eine hohe Qualität bei der Bildwiedergabe, selbst bei einer großflächigen Realisierung des Bildschirmhologramms.

Bevorzugt ist das Bildschirmhologramm nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren beispielhaft beschrieben, in denen

Fig. 1 eine Anordnung zur Aufnahme eines Reflexions-Bildschirmhologramms als Kontakthologramm schematisch

in Seitenansicht zeigt;

Fig. 2 eine Draufsicht auf die Anordnung gemäß Fig. 1 zeigt;

Fig. 3 eine Anordnung zur Aufnahme eines Transmissions-Bildschirmhologramms als Kontakthologramm schematisch zeigt;

Fig. 4 eine Anordnung zur Aufnahme eines Bildschirm-Reflexionshologramm für Aufprojektion zeigt;

Fig. 5 eine Anordnung zur Aufnahme eines Transmissions-Bildschirmhologramms für Rückprojektion als Bildebenen-hologramm zeigt; und

Fig. 6 ein erfindungsgemäßes Lasersystem schematisch zeigt.

Fig. 1 zeigt schematisch die Aufnahme eines Reflexionshologramms eines realen Bildschirms als Kontakthologramm für die spätere Aufprojektion in Seitenansicht. Ein holografisches Aufnahmematerial 12 befindet sich in Kontakt mit einem Bildschirm 11. Ein Laserstrahlbündel 13 aus einem schnell gepulsten Laser 16 wird über das Aufnahmematerial 12 in zwei Achsenrichtungen x und y flächendeckend mit Scannern 14 und 15 gescannt, z. B. mit einem kreisförmig geformten Laserstrahlfleck. In Fig. 2 ist eine Draufsicht auf das holografische Aufnahmematerial 12 dargestellt. Der Laserstrahl 13 beleuchtet sukzessive einen Teilbereich 11a des Aufnahmematerials 12 und des dahinterliegenden Bildschirms 11. Auch anders geformte Laserflecke wie z. B. ein Rechteck können verwendet werden. Ein Teil der auffallenden Laserstrahlung 13 wird vom Hologramm bzw. Aufnahmematerial 12 durchgelassen und fällt auf den realen Bildschirm 11, der Strahlung 17 als Objektlichtwellen wieder in das Hologramm 12 zurückstreut. Dort treffen die Objektlichtwellen wieder auf den einfallenden Strahl 13 und bilden mit seinen Wellen holographische Interferenzmuster, die durch den Belichtungsprozess im Aufnahmematerial 12 als Hologramm gespeichert werden. Es können verschiedenste Scanfiguren, z. B. Rasterscan, Sinusscan oder Spiralscan verwendet werden.

Das Bildschirmhologramm wird also nicht als ganzes in einem Stück als Abbild des realen Bildschirms 11 aufgenommen wird, sondern in einer sehr hohen Zahl von Einzelaufnahmen, in denen jeweils nur kleine Teile 11a des realen Bildschirms 11 beleuchtet werden. Das ganze Bild des Bildschirms 11 ergibt sich dann als Zusammensetzung bzw. Überlagerung der Vielzahl von Einzelaufnahmen, z. B. in der Art von Bildpixeln.

Das erzeugte Bildschirmhologramm ist als Kontakthologramm bzw. als sogenanntes Bildebenen-hologramm ausgeführt, bei dem das projizierte Bild bei der Wiedergabe in der Hologrammebene erscheint. Durch das Einbelichten von Schirmen in den Grundfarben Rot, Grün und Blau in die gleiche Hologrammschicht 12 oder in drei aufeinander laminierte Schichten können später auch Farbbilder auf den holografischen Schirm projiziert werden.

Kontakthologramme haben den Vorteil eines einfachen optischen Aufbaus bei der Aufnahme. Das Hologramm wird deshalb, wie in Fig. 1 gezeigt, auf den realen Bildschirm 11, z. B. eine reflektierende Streuscheibe oder transmittierendes Mattglas, im Kontakt aufgelegt und gemeinsam mit dem Referenzstrahl ohne zusätzliche Objektausleuchtung belichtet. Bei der Projektion ist der Winkel des rückgestreuten Projektionslicht aus dem Hologramm 12 in Richtung zum Zuschauer der gleiche wie der des realen Bildschirms in Bezug auf den Aufnahme-Lichtstrahl 13.

Die Erfindung basiert auf der Tatsache, daß der holografische Bildschirm bzw. das Hologramm 12 die optischen Eigenschaften der Bildpixel, d. h. Helligkeit (Grauwert), Farbe, Polarisation und Abstrahlwinkel nur einzeln für jedes Pixel vom Schirm wiedergeben muß. Eine optische Ver-

knüpfung zwischen benachbarten Pixeln besteht nicht, und ein Bildschirm als Kontakt- oder Bildebenenhologramm hat nur eine zweidimensionale Struktur. Damit das Hologramm 12 diese Wirkungsweise eines flachen Bildschirms in der Hologrammebene wiedergeben kann, ist es deshalb nicht zwingend notwendig, den ganzen reellen Bildschirm 11 in einer einzigen Belichtung über eine ausgedehnte Hologrammfläche aufzunehmen, wie es bei Hologrammen von dreidimensionalen Objekten der Fall ist, sondern der Bildschirm kann als zusammengesetzter oder mosaikartig aufgebauter Film von getrennten Einzelaufnahmen von Teilbereichen 11a eines Bildschirms ausgebildet sein. Diese Teilbereiche 11a können deshalb bis zu der Größe eines einzelnen Bildpixel verkleinert werden.

Der holografische Bildschirm wird durch Belichtung des reellen größeren Bildschirms 11 mit einem schnell gepulsten Laserstrahl 13, der über die gesamte Fläche lückenlos gescannt wird, aufgenommen. Damit die Bewegung des Strahles 13 über den Schirm 11 bzw. über das Aufnahmematerial 12 keinen Einfluß auf die Interferenz der Lichtwellen im Hologramm 12 hat, wird sichergestellt, daß einerseits die Pulsdauer des Lasers 16 ausreichend kurz ist, und das andererseits die Kohärenzlänge des Laserlichtes für die Ausbildung der Interferenzen ausreicht. Um eine besonders wirtschaftliche Herstellung des holografischen Schirms zu erreichen, ist die Pulswiederholfrequenz des Lasers 16 und seine mittlere Leistung ausreichend hoch, so daß sich eine kurze Belichtungszeit ergibt.

Geeignete Laser für diese Art von holografischer Belichtung sind z. B. leistungsstarke schnell gepulste diodengepumpte infrarote Festkörperdauerstrichlaser mit nur einer einzigen longitudinalen Mode, deren Strahlung durch Frequenzkonversion in den roten, grünen und blauen Wellenlängenbereich verschoben wird. Das Abscannen der Bildschirmfläche kann mit handelsüblichen Laser-Strahl-Scannern durchgeführt werden.

Die Teilhologramme 11a sind mindestens so groß gewählt, daß keine Störungen, wie Kontrastverminderung, Farbverfälschung und Verminderung der Bildauflösung in der späteren Bildwiedergabe durch Lichtbeugung oder Feinstruktur der Hologramme selbst, auftreten. Solche Störungen sind nicht zu erwarten wenn die Teilhologramme 11a größer sind als die Bildpixel der Projektion. Andererseits kann die Größe und Form des Teilhologramms 11a und die Scangeschwindigkeit so gewählt werden, daß mit den vorgegebenen Betriebsparametern des aufnehmenden Lasers, wie mittlere Leistung und Pulswiederholfrequenz, eine optimale Bestrahlung und homogene Ausleuchtung des Hologramms 12 erreicht wird, ohne daß der Wirkungsgrad der Aufnahme gleichzeitig durch Bewegung des Scanstrahles 13 herabgesetzt wird.

Allgemein muß zur Aufnahme von Objekthologrammen das Objekt selbst mit einem Objektstrahl und das Hologramm mit einem Referenzstrahl beleuchtet werden. Das von dem Objekt gestreute Licht wird dann im Hologrammfilm mit dem Referenzstrahl zur Überlagerung gebracht. Bei der hier gezeigten gepulsten Aufnahme, bei der nur ein Teil 11a des reellen Bildschirms 11 als Objekt und gleichzeitig ein Teil des Hologramms 12 direkt mit dem gepulsten Referenzstrahl 13 beleuchtet wird, werden die Belichtungen synchron überlagert durchgeführt. Dies läßt sich mit Kontakt-hologrammen, bei denen der Hologrammfilm 12 direkt auf den reellen Bildschirm 11 aufgelegt wird und der Referenzstrahl 13 sowohl zur Beleuchtung des Hologramms 12 und zur Beleuchtung des Bildschirms 11 verwendet wird, leicht realisieren.

Bei Bildebenenhologrammen wird der Bildschirm mit einer Linse in das Hologramm abgebildet. Damit die Teilbe-

leuchtung von Bildschirm mit Objektstrahl und Hologramm mit Referenzstrahl sich überlappen, müssen beide Scanstrahlen miteinander bei ihrer Bewegung so synchronisiert werden, daß der abgebildete Fleck vom Bildschirm im Hologramm und der Fleck des Referenzstrahles sich jedesmal decken.

Die Lichtwellen im Objektstrahl und Referenzstrahl müssen sich während der Belichtung im Hologramm kohärent überlagern. Dies bedeutet, daß die Kohärenzlänge des verwendeten Beleuchtungslasers 16 mindestens so groß oder größer sein muß als die Differenz der Lichtwege zwischen den Wellen des Objekt- und Referenzstrahl, die aus einem gemeinsamen Strahl stammen, bis sie sich wieder im Hologramm 12 treffen. Diese Forderung kann im Sinne der Erfindung durch eine entsprechende Auslegung der Strahlführung und Aufbauten der Hologramme mit der Kohärenzlänge der verfügbaren Lasern in Einklang gebracht werden.

Die Bewegung der interferierenden Wellen im Hologramm durch die scannenden Strahlen (Objektstrahl und Referenzstrahl) während der Pulsdauer gegeneinander und gegenüber dem Hologrammfilm beträgt nicht mehr als Bruchteile der Wellenlänge ( $< \lambda/10$ ). Diese Bedingung wird durch eine entsprechende Einstellung der Scangeschwindigkeit im Verhältnis zu der Pulsdauer des Lasers erfüllt. Bei einer Pulsdauer von 10 ns und einer Scangeschwindigkeit von 5 m/sec ist die Bewegung des Strahles z. B. 50 nm was etwa  $\lambda/10$  entspricht.

Bei Scannen mit gepulster Strahlung mit konstanter Leistung von Puls zu Puls, kann eine große Hologrammfläche mit gleichmäßiger mittlerer Intensitätsverteilung abgedeckt werden, jedoch wird die Belichtung, d. h. die Lichtintensität mal Zeit, je nach dem Verhältnis Scangeschwindigkeit zur Pulswiederholfrequenz des Strahles mit Gauß-Intensitätsprofil über die ganze Fläche entlang der Scanspur periodisch moduliert sein. Die Erfindung sieht deshalb weiterhin vor, daß diese periodische lokale Ungleichmäßigkeit der Beleuchtung, sowie auch Inhomogenitäten in der Hologrammdicke, z. B. bei mosaikartiger Verlegung mehrere Hologramme nebeneinander, durch mehrmaliges Abscannen der gleichen Fläche mit phasenverschobenem Scanstrahl, bzw. durch Regelung der Pulsleistung, ausgeglichen werden. Hier nutzt die Erfindung z. T. die Eigenschaft von Hologrammaufnahmen aus, daß in einem einzigen Hologramm mehrere Objektbelichtungen überlappend und unabhängig voneinander gespeichert werden können.

Damit dieser Belichtungsvorgang automatisch ablaufen kann, wird in einer nicht dargestellten Ausführungsform der Erfindung die Verteilung der Belichtung durch einen kalibrierten Rückstreusensor, der im Strahlengang des Beleuchtungslasers coaxial zum gepulsten Belichtungsstrahl angeordnet ist, überwacht. Alternativ dazu können Überwachungskameras die Laserbeleuchtung über die gesamte Hologrammfläche ständig vermessen. Das damit gewonnene Belichtungsmuster kann von einem Mikroprozessor, bzw. Computer gespeichert und bei nachfolgenden nochmaligen Scanzyklen über die gesamte Hologrammfläche durch Regelung der Laserlichtintensität und Flächenverteilung der Scanfigur zur nachträglichen Korrektur der Belichtung der vorhergehenden Belichtungsmuster verwendet werden.

Nach dem Entwicklungsprozess sind die optischen Eigenschaften des Bildschirms in dem Hologramm 12 gespeichert. Vorzugsweise werden sogenannte dicke Hologramme (10–20  $\mu\text{m}$ ) verwendet, z. B. aus Photopolymer, Dichromatgelatine oder Silber-Halogenid Materialien. Dicke Hologramme haben gegenüber dünnen Hologrammen den Vorteil, daß sie besonders selektiv Licht mit der gleichen Wellenlänge wie bei der Aufnahme herausbeugen, und zwar nur dann, wenn der Einfallswinkel des Rekonstruktionsstrahles

der gleiche ist wie der Einfallswinkel des Referenzstrahles bei der Aufnahme.

Die optimale akkumulierte Belichtung der Hologramme ist für jedes Material und für jede Wellenlänge verschieden, z. B. liegt sie für Photopolymaterialien bei etwa 25 mJ/cm<sup>2</sup>, d. h. zur Belichtung von 1 m<sup>2</sup> mit einem Laser 1 W mittlerer Leistung würden 250 Sekunden oder etwa 4 Minuten benötigt. Bei Silberhalogenidfilmen ist nur eine Belichtung von etwa 0,5 mJ/cm<sup>2</sup> notwendig, wodurch die Belichtungszeit entsprechend gekürzt werden kann.

Bildebenenhologramme sind Aufnahmen von mit Linsen oder Spiegeln abgebildeten Schirmen, die in der Hologrammebene liegen. Der Abstrahlwinkel dieser Hologramme, kann durch die Abbildungsgeometrie erheblich eingeengt werden, mit einer entsprechenden Zunahme der Helligkeit des Bildes, was für viele Anwendungen von großem Vorteil ist.

Fig. 3 zeigt eine Aufnahme eines Kontakthologrammes von einem Bildschirm 31 als Transmissionshologramm 32. Hier ist es notwendig, daß ein Referenzstrahlenbündel 33, dessen Strahlengang mit dem Projektionsstrahl bei der späteren Bildwiedergabe zusammenfällt, als konvergentes Teilstrahlenbündel eines gepulsten Lasers 39 auf das Hologramm 32 fällt. Die Interferenzstrukturen, die sich dann im Hologramm 32 durch die Überlagerung von Streulichtes 30 aus dem Schirm 31 mit dem Referenzstrahlbündel 33 ausbilden, entsprechen dann einer Bildwiedergabe in Rückprojektion aus dem Schnitt- bzw. Projektionspunkt 36, d. h. der Verlängerung des Strahlenbündels 33. Bei der Projektion steht der Betrachter dann gegenüber dem späteren Projektionspunkt 36 auf der entgegengesetzten Seite des Hologramms 12. Die Herstellung eines konvergenten Strahlenbündels aus einem Zweiachsen-Scanner 34 und 35 läßt sich am einfachsten über einen langbrennweitigen Spiegel 37 herstellen, der den Quellenpunkt des Scanners 38 in den Schnittpunkt 36 abbildet. Das Hologramm 32 und der reelle Bildschirm 31 sind dann in einer Schnittebene dieses Strahlenganges des Teilstrahlenbündels 33 plaziert.

Fig. 4 zeigt eine Aufnahme eines Transmissionshologramms als Bildebenenhologramm für die Rückprojektion. Hier wird ein reeller Bildschirm 41 mit Hilfe einer Linse 46 auf ein Hologramm 42 abgebildet. Gleichzeitig fällt ein Referenzstrahlbündel 43 von der anderen Seite auf das Hologramm 42. Die beiden Scanner mit x-y-Scannerspiegeln 57 und 58 bzw. 57' und 58' werden so synchronisiert, daß die beiden Beleuchtungsflecken des Referenzstrahlbündels 43 und der beleuchteten Fläche 40 des reellen Schirms im Hologramm 41 synchron überlagert werden. Die Beleuchtungsstrahlen für den reellen Schirm 42 und für das Referenzstrahlbündel 43 werden mittels Teilerspiegel 44 und Umlenkspiegel 44' aus dem gemeinsamen Laser 49 geteilt und umgelenkt.

Fig. 5 zeigt eine Aufnahme eines Bildebenenhologramms als Reflexionshologramm für die spätere Aufprojektion. Dabei wird ein reeller Schirm 51 in eine Hologrammebene 52 mit Hilfe einer Linse 56 abgebildet und das Abbild wird dort mit einem Referenzstrahlenbündel 53 synchron überlagert. Mit Hilfe eines Teilerspiegels 54 kann ein Teil des Referenzstrahlbündels 53 für die Ausleuchtung des reellen Schirms 51 verwendet werden. Zusätzliche Hilfsspiegel sind notwendig um die Raumspiegelung der Linse 56 zu kompensieren, was hier für die eine Raumebene am Beispiel des Hilfsspiegels 55 gezeigt wird. Zur gleichzeitigen Abtastung von Schirm 51 und Hologramm 52 dient hier die Verwendung von nur einem Scannerspiegelpaar 57 und 58 vor dem gepulsten Laser 59.

Um die Aufnahme von drei- oder mehrfarbigen Schirmen z. B. der rgb-Farben, zu erleichtern, werden die Strahlen von

drei rgb-Lasern oder eines Lasers mit dreifarbigem rgb-Emission auf eine gleiche Strahlachse coaxial justiert. Die drei Farben sind während eines gemeinsamen Scannes und Belichten des Schirms und des Hologrammes mit dem Referenzstrahl, gleichzeitig am reellen Bildschirm. Der Referenzstrahl stellt ebenfalls eine Überlagerung von drei rgb-Teilstrahlen dar.

Diese gleichzeitige Aufnahme aller drei rgb-Farben im gleichen Hologramm setzt natürlich voraus, daß das Hologramm-Material für alle Farben photoempfindlich ist. Dies gilt aber für eine Reihe von Photopolymer und Silberhalogenidfilme, sowie für einzelne Dichromatgelatine.

Zur Aufnahme der hier beschriebenen Bildschirmhologramme mit schnell gepulster rgb-Beleuchtung werden moderne diodengepumpte, q-geschaltete Infrarot-Festkörperlaser mit einer Emission in nur einer longitudinalen Resonatormode verwendet. Die Laser werden durch klassische Frequenzkonversion wie Frequenzverdopplung, optisch parametrischen Prozessen und Summen- und Differenzfrequenzbildung in verschiedenen nicht-linearen Kristallen auf die rgb-Emission bei den geeigneten rgb Wellenlängen eingestellt.

Es können getrennte Laser für die einzelnen Farben verwendet werden, aber vorteilhafter ist es, Laser zu verwenden, die einen einzigen gemeinsamen q-geschalteten Laser-Oszillator besitzen. Die Laser haben nachgeschaltete, gemeinsame Verstärkerstufen und einen gemeinsamen optisch-parametrischen-Oszillator, der die Grundwelle des Lasers bzw. seine frequenzverdoppelte Welle in zwei Teilwellen längerer Wellenlänge (Idler und Signalwelle) aufspaltet. Eine anschließende Strahltrennung dient zur Trennung der Primärstrahlung in verschiedene Strahlzweige, wo verschiedene weitere Frequenzkonversionen wie Frequenzverdopplung, Frequenzsummutation und -Differenzbildung zur Herstellung der einzelnen Farben stattfinden.

Ein wesentlicher Vorteil eines solchen gemeinsamen Primärlasers liegt darin, daß die Emission aller drei rgb-Farbzweige vollkommen synchron mit gleicher Pulswiederholfrequenz, in fester Phase und mit vergleichbarer spektraler Breite, Kohärenzlänge und Strahldivergenz abgegeben wird. Dies ermöglicht eine gemeinsame Aufnahme von den Bildschirmhologrammen in allen Farben gleichzeitig.

RGB-Laser, die auf diesem Grundkonzept eines gemeinsamen Primärlasers mit nachfolgender Frequenzkonversion in passiven nicht-linearen Kristallen bis zu den drei rgb-Farben beruhen, werden z. B. in der oben genannten Patentschrift DE 195 04 047, "Lasersystem für Farbbildprojektion" und in der Patentschrift DE 44 32 029, "Lasergestützte Farbbildanzeige- und Projektionsvorrichtung" beschrieben. Die dort beschriebenen diodengepumpten Festkörperlaser werden im mode-locked Dauerstrichbetrieb betrieben. Sie haben aber bezüglich der Aufnahme von Bildschirmhologrammen den Nachteil, daß sie ein breites Frequenzspektrum einzelner longitudinaler Moden d. h. geringer Kohärenzlänge in der Primäremission sowie nach der Frequenzkonversion emittieren.

Fig. 6 zeigt einen erfindungsgemäßen Laser, der für die oben beschriebenen gepulsten Bildschirmhologrammaufnahmen besonders geeignet ist. Dabei ist anstatt eines mode-locked-lasers ein schnell gepulster, q-geschalteter-Einfrequenz-IR-Oszillator 61 eines Nd-Lasers wie Nd:YLF, Nd:YAG oder Nd:YVO vorgesehen. D. h., der Oszillator 61 hat eine einzige longitudinale Mode. Die Leistungsverstärkung der Pulse erfolgt in einem Festkörperlaserverstärker 62 gleicher Materialien. Ein optisch-parametrischer-Oszillator 65 ist für eine anschließende Frequenzaufspaltung vorgesehen. Dieser kann über die Temperatur des nichtlinearen Materials und/oder durch Einstellung der Achsenwinkel im

Strahlengang in seiner Wellenlänge eingestellt werden. Dadurch kann bei der anschließenden Frequenzkonversion auch die Wellenlänge der rgb-Nutzstrahlung eingestellt werden. Dies ist vorteilhaft, um die Aufnahmewellenlänge an die spätere Wiedergabewellenlänge genau anzupassen. Es erfolgt auch eine Frequenzverdopplung und Summenfrequenzbildung. Der Oszillator 61 ist ein q-geschalteter Nd:YAG im longitudinalen Einmodenbetrieb. Der Laserverstärker 62 ist eine Nd:YAG oder Nd:YVO Verstärkerkette. Weiterhin ist ein Frequenzverdopplerkristall 63 vorgesehen, sowie Strahlteiler 64, 64' zur Trennung der fundamentalen Strahlung des Primärlasers  $\lambda_1 = 1,06 \mu\text{m}$  von der frequenzverdoppelten grünen Strahlung  $\lambda_g = 0,53 \mu\text{m}$ . Der optisch-parametrische-Oszillator 65 wird mit dem grünen Strahl  $\lambda_g$  gepumpt und so eingestellt, daß er zwei signal- und idler Strahlen ( $\lambda_s$  bzw.  $\lambda_i$ ) generiert, die eine geeignete Wellenlänge für eine anschließende Summenfrequenzbildung in Summenfrequenzgeneratoren 66, 67 aufweisen. Die Wellenlängen  $\lambda_s$  und  $\lambda_i$  sind dabei so gewählt, daß die Summenfrequenzbildung mit den Strahlen der fundamentalen Wellenlänge des Lasers  $\lambda_1 = 1,06 \mu\text{m}$  (bzw.  $1,04 \mu\text{m}$ ), die nach der Frequenzverdopplung übrig bleibt, zu geeigneten Wellenlängen von Rot und Blau führt. Die Farbe Grün wird dagegen als Teil der frequenzverdoppelten Strahlung des Primärlasers über Abspaltung durch den einfachen Strahlteiler 64, 64' übernommen.

Der vorgeschlagene schnell gepulste q-geschaltete Laser 61 ist ein Dauerstrichlaseroszillator mit nur einer longitudinalen Grundmode, die in einem gepulsten Betrieb des Resonators betrieben wird. Ein Laser dieser Art ist z. B. ein diodengepumpter Festkörper-Micro-Chip-Laser wie z. B. Nd:YAG bei der Laserwellenlänge  $1,06 \mu\text{m}$  mit einem so kurzen Resonator, daß er nur auf einer longitudinalen Mode anschwingt. Mit einem internen passiven Güteschalter, z. B. aus dem bekannten  $\text{Cr}^{4+}$ :YAG-Material, kann er durch die Dotierung mit  $\text{Cr}^{4+}$ -Ionen z. B. auf 20 kHz Pulsfrequenz mit einer Pulsdauer von 10 ns eingestellt werden.

Die IR-Emission des Lasers 61 wird nun in dem nachfolgenden Verstärker 62, z. B. mit dem Kristall Nd:YAG oder Nd:YVO<sub>4</sub>, um ein Faktor 10–100 hochverstärkt, ohne daß störende höhere longitudinale Moden entstehen, auch bei Beibehaltung der guten Strahlqualität des Oszillators. Nach der Verstärkung wird der gepulste Strahl dann noch bis zu der erwünschten grünen Wellenlänge 532 nm frequenzverdoppelt, was hier in einem KTP-Kristall 63 geschieht. Nach der Frequenzverdopplung, die mit einer Effizienz von etwa 30% geschieht, bleibt ein Teil der Primärstrahlung mit einer Wellenlänge von  $1,06 \mu\text{m}$  für die weitere Verwendung in anschließenden Stufen übrig.

Eine zweite Möglichkeit ist die Verwendung von passiv gütegeschalteten Nd:YAG-Ringlasern mit gleichem  $\text{Cr}^{4+}$ :YAG-Güteschalter, ähnlicher Puls wiederhol frequenz, aber besserer Frequenzstabilität und höhere mittlere Leistung. Mit anschließenden Verstärkerstufen wie im vorigen Fall kann eine mittlere Leistung von 10–30 W in einer longitudinalen Mode erzeugt werden.

Eine Möglichkeit liegt in der Verwendung eines mit einem akusto-optischen Schalter aktiv-gütegeschalteten Laser mit internem Etalon zur Einstellung eines Einmodenbetriebes, was aber gegenüber dem zweiten Verfahren etwas aufwendiger ist.

Q-geschaltete Dauerstrichlaser der hier beschriebenen Art haben eine Puls wiederhol frequenz von 10–20 kHz, eine Pulsbreite von 5–20 ns und eine Frequenzbandbreite der Laseremission unter 100 MHz. Sie können mit einer Verstärkerstufe so ausgelegt werden daß nach der Frequenzverdopplung 1 W grüne Emission entsteht, und mit zwei oder drei Stufen bis 10 W grüne Strahlung und 30 W infrarote

Strahlung im Mittel generiert wird. Nach der Konversion im optisch-parametrischen-Oszillator 65 und weiterer Frequenzverdopplung bzw. Summenfrequenzbildung können dann alle rgb-Strahlen mit einer mittleren Leistung von einigen Watt hergestellt werden. Ein wesentlicher Vorteil dieses Konzeptes ist auch, daß die Farben Blau und Rot durch Einstellung der Wellenlängen der Idler- und Signalwellenlänge  $\lambda_s$ ,  $\lambda_i$  im optisch-parametrischem-Oszillator 65 zur Anpassung an die Wellenlänge der späteren Bildprojektionslaser kontinuierlich verschoben werden können.

Mit den charakteristischen Laserdaten sind solche Lasersysteme für die Aufnahme der Bildschirmhologramme besonders gut geeignet. Beträgt z. B. die Pulsdauer des Lasers 10 ns und die Scangeschwindigkeit 5 m/sec, dann bewegt sich der Strahl während dieser Pulsdauer lateral um  $5 \times 10 \text{ m}$ , was 1/10 der Wellenlänge bei z. B. 500 nm entspricht. Diese kleine Verrückung hat keinen bemerkbaren Einfluß auf die Güte des Interferenzmusters in dem Hologramm haben. Wäre die Pulsfrequenz z. B. 20 kHz, würde sich der Strahl von Puls zu Puls bei dieser Scangeschwindigkeit um 1/4 mm fortbewegen. Die Kohärenzlänge eines  $\Delta t = 10 \text{ ns}$  Einmoden Pulses beträgt etwa  $\Delta t c = 3 \text{ m}$ , wobei c die Lichtgeschwindigkeit ist. Die Differenz der Laufwege des Objekt- und Referenzstrahles darf diesen Wert nicht überschreiten, was bei allen vorgeschlagenen Aufbauten der Hologramme leicht eingehalten werden kann.

Bildschirmhologramme können also entweder für eine Aufprojektion als Reflexionshologramm oder für eine Rückprojektion als Transmissionshologramm ausgelegt sein. Für beide Verfahren eignet sich entweder die Aufnahme im Kontaktverfahren mit dem realen Bildschirm, oder als Bild-ebenenhologramm, d. h. nach einer Abbildung des Bildschirms auf das Hologramm, wie oben dargestellt. In allen Fällen wird gleichzeitig der Objektstrahl und Referenzstrahl synchron über das Hologramm bewegt.

Nur Lichtwellen mit gleicher linearer Polarisation können miteinander interferieren und als holographisches Abbild von Schirmen in einem Hologramm gespeichert werden, d. h. nur Lichtwellen der gleichen linearen Polarisation im Referenzstrahl und Objektstrahl können zur der Bilderzeugung des Bildschirms beitragen. Vorzugsweise sind deshalb die für die Aufnahme der Hologramme verwendeten Laser streng linear polarisiert, um die Effizienz und Homogenität der Beleuchtung über die gesamte Hologrammfläche zu gewährleisten. Da die meisten Laser mit guter Strahlqualität von Hause aus streng linear polarisiert sind, bedeutet dies keine Einschränkung der Aufnahmetechnik.

Für die Aufnahme von Bildschirmen für stereoskopische Bildwiedergabe werden Bildschirmmaterialien verwendet, die einen drauffallenden linear polarisierten Lichtstrahl in Rückstreuung bzw. in Vorwärtsstreuung depolarisieren. Dies ist bei sehr vielen Leinwandmaterialien für Rückprojektion mit guter Oberflächenfeinrauhigkeit, bzw. leichter Volumenstreuung und bei fast allen Leinwänden mit starker Volumenstreuung für Rückprojektionen der Fall. Da der Referenzstrahl auch eine strenge lineare Polarisationsrichtung des Lasers hat, wird bei einer Aufnahme eines realen Bildschirms diese Polarisationsrichtung im Hologramm beibehalten. Werden nun von gleichem Schirm hintereinander zwei Aufnahmen gemacht, wobei die Polarisationsrichtung des Referenzstrahles von der einen zur anderen um  $90^\circ$  gedreht wird, entstehen im gleichen Bildschirmhologramm zwei unabhängige Schirmbilder, wobei jedes nur auf einen Projektionsstrahl mit bestimmter Polarisationsrichtung wirksam ist. Beide Schirmbilder sind auf zueinander orthogonale polarisierte Projektionsstrahlen wirksam. Damit sind die Voraussetzungen für die Projektion zueinander orthogonal polarisierter Stereobilder und ihre stereoskopische Be-



trachtung mit Polarisationsbrillen gegeben.

Die Umschaltung der Polarisation um 90° im Referenzstrahl kann in einer sehr einfachen Weise durch Drehen einer  $\lambda/2$ -Platte im Strahlengang hinter der Austrittsapertur eines streng linear polarisierten Beleuchtungslasers durchgeführt werden.

Werden mehrere Bildschirmaufnahmen vom gleichen Schirm hintereinander in das gleiche Hologramm bei verändertem Ort des ganzen Schirmes oder des Ursprungsorts des Referenzstrahles gemacht, dann überlagern sich störende Speckebilder kohärent mit statistischer Größenverteilung. In der Summe stellen sie nach den Belichtungen einen neuen virtuellen Schirm dar, der eine wesentlich höhere Feinstruktur als die reelle Schirmvorlage hat. Dies führt zu einer Verschiebung des ganzen Erscheinungsbildes zu größeren Speckles, die dann bei der anschließenden Bildwiedergabe durch leichte örtliche oder zeitliche Modulation des Projektionsstrahles leichter behoben werden können. Es wird also die Eigenschaft von Hologrammen genutzt, mehrere Bilder mit leicht veränderten Aufnahmebedingungen übereinander aber unabhängig voneinander im gleichen Hologramm zu speichern. Auch bei Bildschirmhologrammen, die mit gepulsten Lasern aufgenommen werden, kann so die Größe der störenden Bildspeckles, die bei der Bildwiedergabe mit Lasern entstehen, verändert werden.

Das hier beschriebene Verfahren der Aufnahme eines streuenden holografischen Bildschirms kann auch verwendet werden, um die Funktion eines planen Spiegels, der im Grunde genommen nur ein Grenzfall einer streuenden Fläche darstellt, aufzunehmen. Solche holografische Spiegel können wegen ihrer Selektivität in der Wellenlänge als Hilfselemente in den Aufnahmevorrichtungen bzw. in den Projektoren vorteilhaft eingesetzt werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Bildschirmhologrammen, bei dem ein realer Bildschirm (11; 31; 41; 51) mit schmalbandigem Licht beleuchtet wird um ein Hologramm des realen Bildschirms zu erzeugen, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Vielzahl von Einzelaufnahmen durchgeführt wird, wobei jeweils nur ein Teilbereich (11a) des realen Bildschirms (11; 31; 41; 51) beleuchtet wird, so daß sich durch Zusammensetzung und/oder Überlagerung der Einzelaufnahmen das Bildschirmhologramm des gesamten Bildschirms ergibt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Beleuchtung mit einem scannenden, gepulsten Laserstrahl (13; 33; 43; 53) erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsdauer derart bemessen ist, daß die Bewegung des Laserstrahls (13; 33; 43; 53) über den Bildschirm (11; 31; 41; 51) keinen Einfluß auf die Interferenz der Lichtwellen im Hologramm hat.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die aufgenommenen Teilbereiche (11a) des Bildschirms (11; 31; 41; 51) mindestens der Größe von Bildpixeln entsprechen.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Belichtung mit einem gepulsten, diodengepumpten Festkörperdauerstrichlaser (16) erfolgt.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Frequenzkonversion in einen oder mehrere der Wellenlängenbereiche rot, grün, blau erfolgt.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kontakthologramm oder ein Bildschirmenebenenhologramm erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Transmissionshologramm oder ein Reflexionshologramm erzeugt wird.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Laserstrahlen (13; 33; 43; 53) mit einer Kohärenzlänge erzeugt werden, die größer ist als die Differenz der Lichtwege zwischen Objektstrahl und Referenzstrahl.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß Scangeschwindigkeit und Pulsdauer so aufeinander abgestimmt sind, daß die Bewegung des Laserstrahls (13; 33; 43; 53) während eines Pulses kleiner ist als 1/10 der Wellenlänge.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein mehrmaliges Abscannen der Bildschirmfläche mit jeweils phasenverschobenem Laserstrahl (13; 33; 43; 53) erfolgt.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verteilung der Belichtung im Hologramm gemessen wird um bei einem nachfolgenden Belichtungszyklus die Belichtung zu korrigieren.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Belichtungen mit senkrecht zueinander polarisierten Licht- oder Laserstrahlen (13; 33; 43; 53) durchgeführt werden um zwei voneinander unabhängige Schirmbilder in dem Hologramm (12; 32; 42; 52) zu erzeugen.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Belichtungen mit veränderten Aufnahmeparametern wie beispielsweise verändertem Ort des realen Bildschirms oder verändertem Ursprungsort des Referenzstrahls durchgeführt werden.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Belichtung gleichzeitig durch Licht- oder Laserstrahlen (13; 33; 43; 53) der Grundfarben rot, grün, blau erfolgt, die auf einer Strahlachse coaxial justiert sind.

16. Vorrichtung zur Herstellung von Bildschirmhologrammen, mit einer schmalbandigen Lichtquelle (16; 39; 49; 59; 60) zur Beleuchtung eines realen Bildschirms (11; 31; 41; 51), die so angeordnet ist, daß sich das vom Bildschirm ausgehende Licht (17; 30; 40; 50) mit einem Referenzstrahl überlagert um ein Hologramm des Bildschirms zu erzeugen, gekennzeichnet durch eine Scanvorrichtung (14, 15; 34, 35; 47; 48, 47', 48'; 57, 58) zum Führen der von der Lichtquelle ausgehenden Lichtstrahlung über den Bildschirm, wobei die Lichtquelle gepulste Lichtstrahlung erzeugt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (60) gleichzeitig rote, grüne und blaue Laserstrahlung erzeugt.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (60) ein Lasersystem nach einem der Ansprüche 19 bis 20 umfaßt.

19. Lasersystem zur Herstellung von RGB-Strahlen, insbesondere für die Herstellung von Bildschirmhologrammen, mit einer Laserstrahlquelle (61, 62) zur Erzeugung von La-



serstrahlung (13; 33; 43; 53),  
einer Frequenzkonversionseinrichtung (63), und  
einem optisch-parametrischen Oszillator (65),  
dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlquelle einen gepulsten, q-geschalteten Einfrequenz-IR-Laser-  
Oszillator (61) umfaßt. 5

20. Lasersystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlquelle einen Laserverstärker (62) umfaßt, der dem q-geschalteten Einfrequenz-IR-Laseroszillator (61) nachgeschaltet ist. 10

21. Bildschirmhologramm mit einem holografischen Aufnahmematerial (12; 32; 42; 52), in dem ein realer Bildschirm (11; 31; 41; 51) als Hologramm gespeichert ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildschirmhologramm eine Vielzahl von Einzelaufnahmen enthält, in denen jeweils ein Teilbereich (11a) des realen Bildschirms (11; 31; 41; 51) als Hologramm abgebildet ist, wobei sich das gesamte Bild des Bildschirms aus den zusammengesetzten und/oder überlagerten Einzelaufnahmen (11a) ergibt. 15 20

22. Bildschirmhologramm nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß es nach dem Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15 hergestellt ist. 25

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

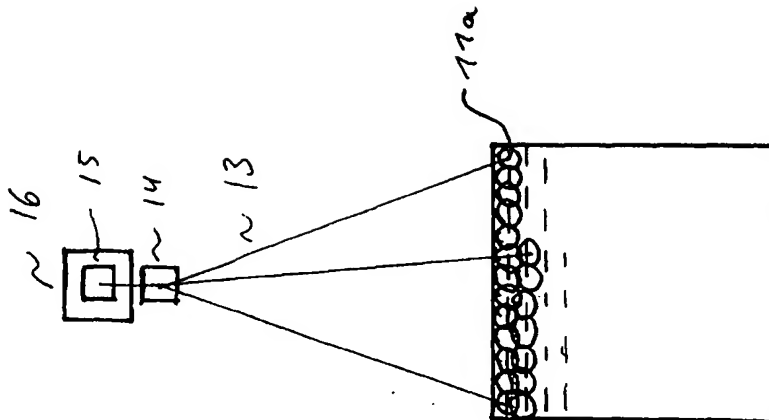


Fig. 2

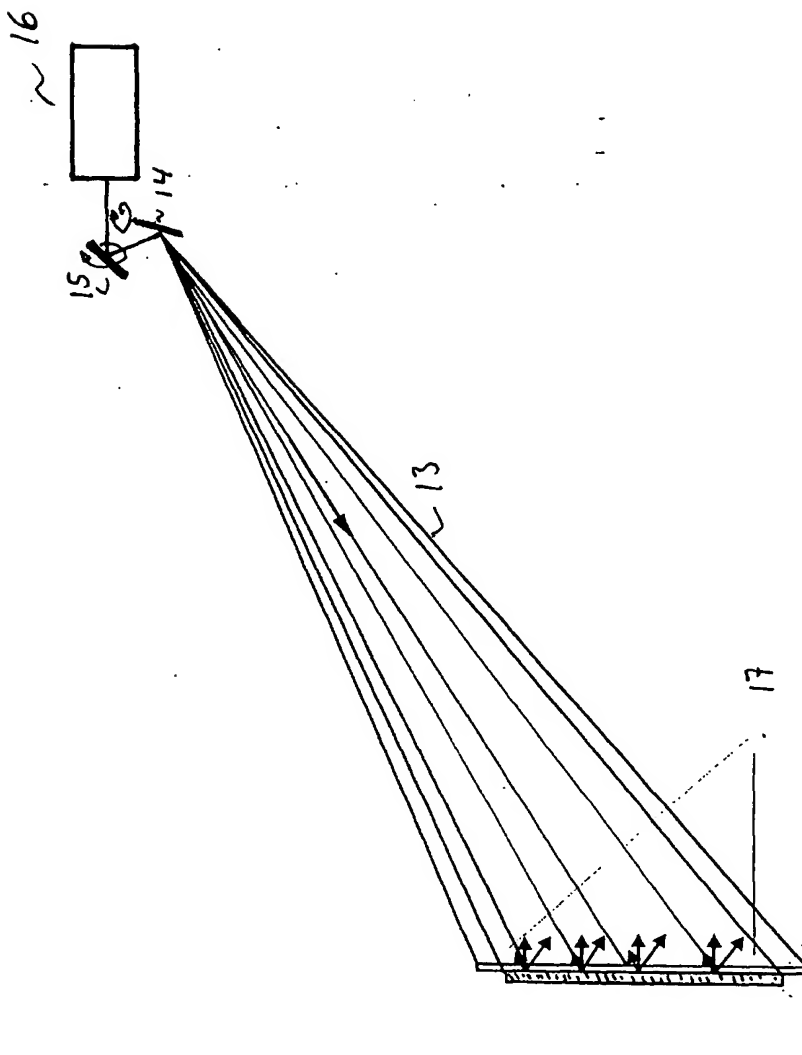


Fig. 1

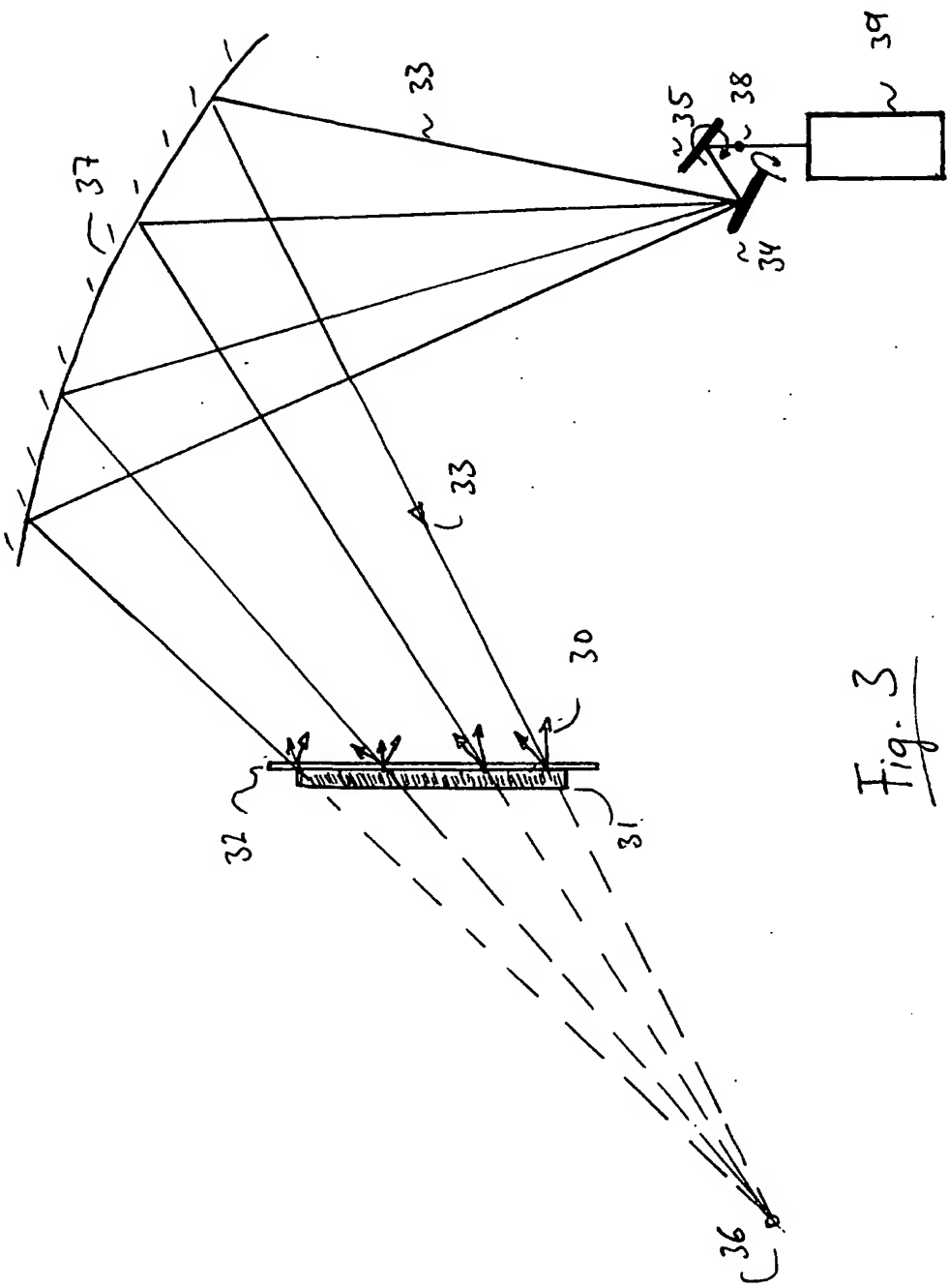


Fig. 3

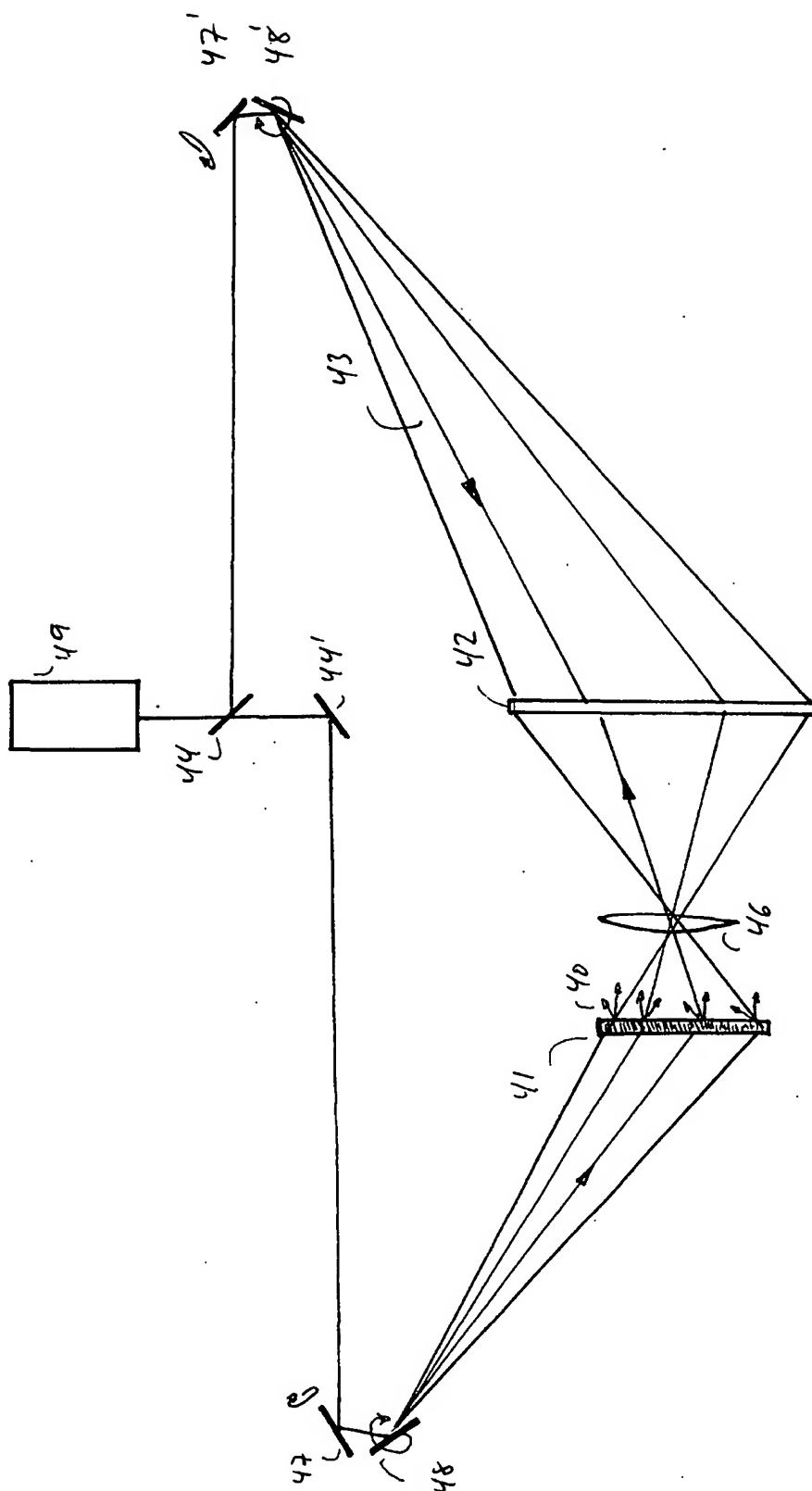
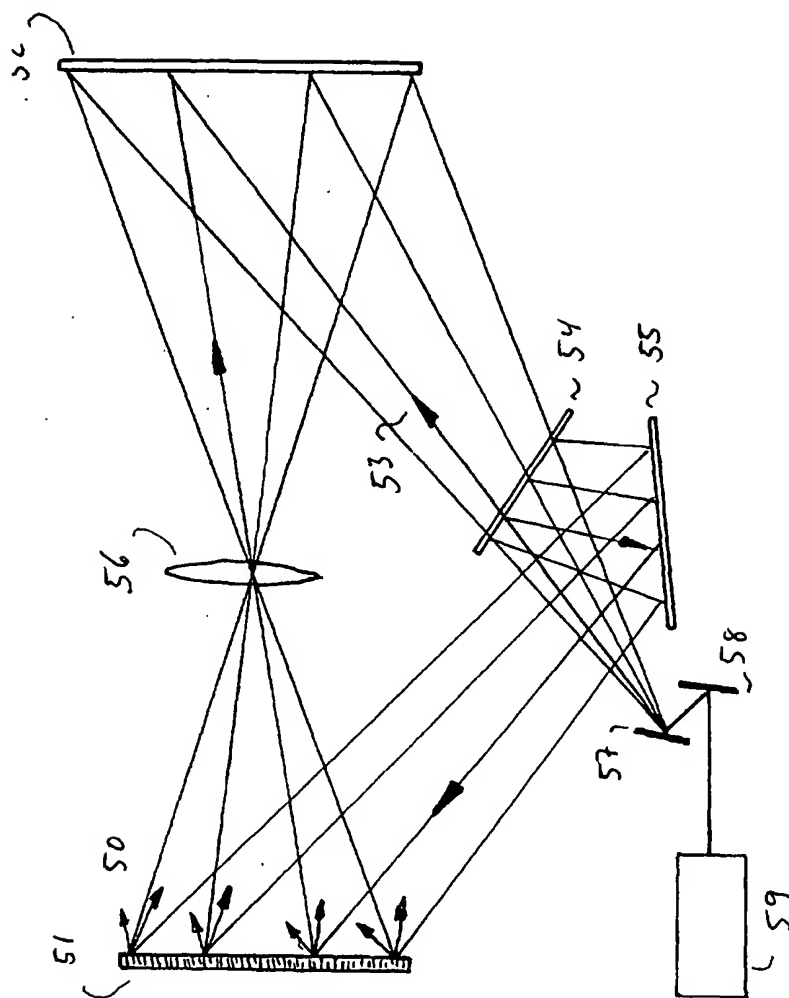


Fig. 4

Fig. 5



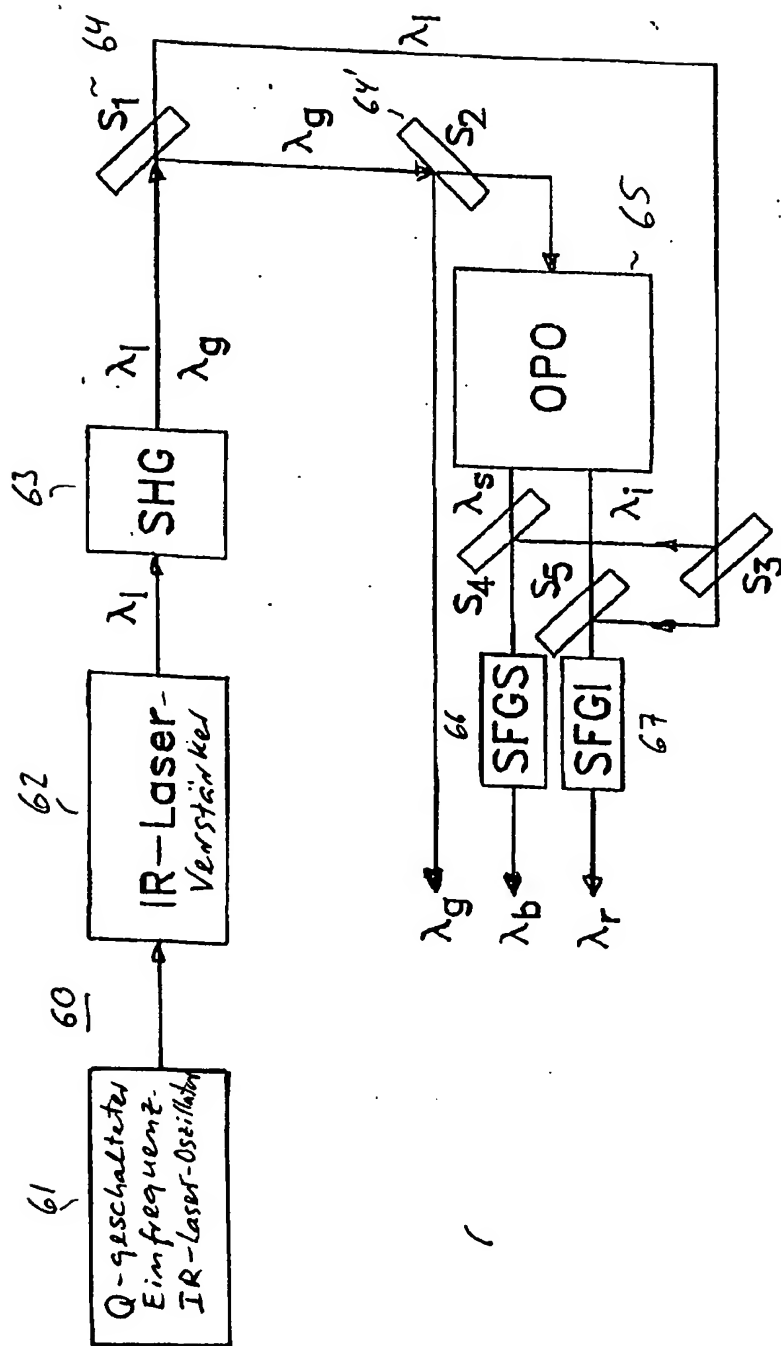


Fig. 6